

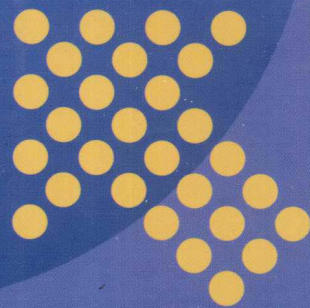
21世纪高等学校规划教材



GUOLU SHUICHULI CHUBU SHEJI

锅炉水处理初步设计

丁桓如 编著 (第二版)



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

21世纪高等学校规划教材



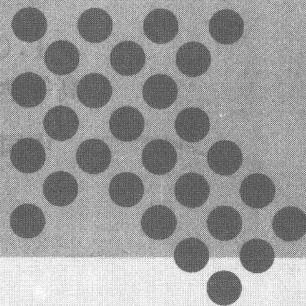
GUOLU SHUICHULI CHUBU SHEJI

锅炉水处理初步设计

编著 丁桓如
主审 李培元

(第二版)

江苏工业学院图书馆
藏书章



中国电力出版社

<http://jc.cepp.com.cn>

内 容 提 要

本书为 21 世纪高等学校规划教材。

本书系统地介绍了锅炉水处理的初步设计方法,包括设计的原始资料、水处理系统选择和工艺计算、附属系统选择、图纸绘制等部分,汇集了众多的水处理计算公式和技术数据。涉及的内容包括离子交换系统设计、预处理系统设计、膜处理系统设计、凝结水处理系统设计及加药系统设计等。

本书可作为普通高等学校本科应用化学专业水处理课程(毕业)设计教材、高职高专电力技术类电厂化学专业的教材,也可作为从事锅炉水处理及其他纯水制备专业的设计、科研、生产等方面的工程技术人员的参考书,还可供工业给水处理专业、给水排水专业的工程技术人员参考。

图书在版编目(CIP)数据

锅炉水处理初步设计/丁桓如编著. —2 版. —北京:
中国电力出版社, 2010

21 世纪高等学校规划教材

ISBN 978 - 7 - 5083 - 9855 - 6

I. ①锅… II. ①丁… III. ①锅炉用水—水处理—
高等学校—教材 IV. ①TK223.5

中国版本图书馆 CIP 数据核字(2009)第 225090 号

中国电力出版社出版、发行

(北京三里河路,6 号 100044 [http //jc cepp com. cn](http://jc.cepp.com.cn))

汇鑫印务有限公司印刷

各地新华书店经售

*

1995 年 11 月第一版

2010 年 2 月第二版 2010 年 2 月北京第二次印刷

787 毫米×1092 毫米 16 开本 12.5 印张 301 千字

定价 22.00 元

敬 告 读 者

本书封面贴有防伪标签,加热后中心图案消失
本书如有印装质量问题,我社发行部负责退换

版 权 专 有 翻 印 必 究

前 言

本书第一版是 1995 年出版的, 当时编写此书的目的是为电力院校有关锅炉水处理专业的本科生课程 (毕业) 设计之用, 由于本书是锅炉水处理 (纯水制备) 设计方面的唯一教学用书, 因此本书的出版极大地方便了教学。

作为一本技术类教材, 十几年的时间变化, 其内容急需更新。当时编写此书是以离子交换除盐为主, 虽然目前离子交换仍为水除盐的主要方法, 但膜技术已经迅速发展起来, 高参数锅炉的补给水处理已大规模地使用膜处理, 如何使本专业的本科教育 (水处理设计) 能跟上技术进步的步伐, 就成了当务之急。幸好, 本书得到中国电力出版社和上海电力学院的大力支持, 得以再版。

本书第二版除基本上保留了第一版中离子交换部分内容外, 又重新编写了以三膜处理 (超滤、反渗透、电除盐) 为主的膜处理内容, 并修改和增添了凝结水处理和给水炉水处理方面的内容, 另外在附录中增加了一些常用数据的汇集。

与第一版前言中所述的一样, 本书的编写是一种尝试, 在编写过程中, 参考资料不足, 需从众多零散的材料中进行收集、整理, 使本书难免有不妥之处。希望得到本专业教学、设计、生产部门读者的帮助和指正。

本书第二版仍由武汉大学李培元教授审阅, 在此表示感谢。

在此需要对本书使用的单位进行说明。目前水处理专业基本上是按照中华人民共和国电力行业标准 DL/T 434—1991《电厂化学水专业实施法定计量单位的有关规定》中要求执行的, 也就是可以将具有一个电荷 (或反应中发生一个电荷变化) 的粒子作为摩尔 (mol) 计量的基本单元, 并标明摩尔的基本单元, 如 $C(Na^+)$, $C(\frac{1}{2}Ca^{2+})$, $C(\frac{1}{2}SO_4^{2-})$ 等, 本书也采用这一方法。但为了简便, 本书中对摩尔不逐条注明其基本单元, 所以书中凡未注明其基本单元的摩尔, 均是指具有一个电荷的粒子作为摩尔的基本单元。

但在一般化学公式中, 常以分子或离子 (并非具有一个电荷的粒子) 作为摩尔的基本单元, 本书遇到这种情况或在某些容易混淆的情况时, 在摩尔后面将逐条注明其基本单元, 如: 本书中硬度 $\times \times \text{mmol/L}$ [$C(\frac{1}{2}Ca^{2+} \cdots)$] 或 $\times \times \text{mmol/L}$ 是指摩尔基本单元为 $\frac{1}{2}Ca^{2+} \cdots$; 本书中硬度 $\times \times \text{mmol/L}$ [$C(Ca^{2+} \cdots)$] 是指摩尔的基本单元为 $Ca^{2+} \cdots$ 。

作者

2009.12 于上海电力学院

第一版前言

本书是按原能源部教育司《1990~1992 年高等学校教材编审出版计划》编写的,供高等院校应用化学(电厂化学)专业学生在进行课程设计(或毕业设计)时使用。

工程设计是一项技术性和政策性很强的工作,为加强对学生能力的培养,课程设计必须密切结合工程设计,因而就要严格遵守工程设计的各种规定和要求。所以,本书在编写时,除了考虑教学上需要的循序渐进外,还在具体内容上力争能尽多地汇集本专业工程设计的设计思想和设计经验,并严格遵守现行的各项技术规程和规定,另外还尽可能多地收集各种设计数据和运行数据。因此,本书除了作为大专院校教材外,对本专业的设计、科研、生产的工程技术人员也有一定的参考价值。

本书中物质量的单位为摩尔(mol)。需要说明的是本书中摩尔是指参加化学反应的基本单元,对一价离子及分子是以其本身作基本单元,对二价离子以其 $1/2$ 作基本单元,对三价离子以其 $1/3$ 作基本单元,以此类推。

本书在编写过程中,首先遇到的问题是资料不足,虽然水处理系统设计是一项已广泛开展的工作,但它的系统总结却很少,需要从众多的零星资料中进行收集、整理。所以,在编写本书过程中,参考了许多单位和个人编写的技术资料 and 学术论文,其中既包括武汉水利电力大学、东北电力学院、上海电力学院原有的锅炉水处理设计资料,又包括各电力设计院编写的资料,以及水处理方面的各种书籍、杂志,在此仅向它们的作者表示感谢。

本书由武汉水利电力大学李培元教授审阅,在此表示感谢。

由于编写本书是一个尝试,加之时间仓促和水平所限,书中难免有不妥之处,甚至错误,希望读者不吝赐教,以便再版时订正。

编 者

1995.1

目 录

前言

第一版前言

绪论	1
第一章 设计的原始资料及其整理	4
第一节 电厂的性质、规模及水汽质量标准	4
第二节 热力设备对补给水水质及水量的要求	9
第三节 水源水质资料及其他资料	16
第二章 水处理系统选择	21
第一节 水的除盐——离子交换系统选择	21
第二节 水的除盐——膜法除盐系统选择	27
第三节 预处理系统及反渗透进水前处理系统选择	37
第四节 凝结水处理及给水和炉水处理系统选择	60
第五节 水处理系统的技术经济比较	63
第三章 水处理系统工艺计算及设备选择	68
第一节 离子交换补给水处理系统工艺计算	68
第二节 带有弱型树脂的交换器工艺计算	84
第三节 膜法补给水处理系统工艺计算	93
第四节 反渗透前处理系统工艺计算	116
第五节 凝结水处理及加药系统工艺计算	125
第六节 箱类的选择	130
第四章 管道、泵及附属系统的选择	132
第一节 管道及泵的选择	132
第二节 再生剂(酸、碱、盐)系统设计	138
第三节 压缩空气系统设计	141
第四节 加药系统、自用水系统及废排水系统设计	143
第五节 水处理系统程序控制和监测仪表的选择	145
第五章 系统图和设备布置图	149
第一节 系统图	149
第二节 设备布置图	151

附录	156
附录一 常用离子交换树脂技术参数	156
附录二 离子交换器设计参数	160
附录三 澄清池、滤池和水箱规格	164
附录四 过滤设备技术参数	166
附录五 澄清池设计数据	169
附录六 水处理常用的 8in 卷式反渗透膜	172
附录七 水处理常用的电除盐模块	176
附录八 水处理常用的超滤膜	178
附录九 反渗透膜设计参数	181
附录十 水处理常用管道	185
附录十一 设备、管道防腐措施	187
附录十二 公英制单位换算	188
附录十三 厂房建筑常用尺寸	190
参考文献	191

绪 论

不论是电厂锅炉还是工业锅炉,水处理工作的重要性已经毋庸置疑。如何使水处理工作能满足锅炉设备的需要,这个问题在很大程度上与设计水平、安装和调试质量及运行管理水平有关。

设计就是按照设备的实际需要和现场的实际情况,在技术条件允许的情况下,选择合适的水处理方案,编制整个水处理工作的蓝图;安装及调试是按照设计要求来建造实际设备,并调试到最佳运行工况;运行管理是在设计和调试的基础上,充分发挥设备能力,满足实际生产的需要。所以,在一个工程中,设计是整个工程工作的第一步,设计工作的好坏,直接影响到以后的安装、调试及运行管理的质量。

那么,要做出一个好的工程设计,对于设计者来讲,除了应具备本专业范围内的知识外,还应注意以下几个问题。

(1) 认真了解和执行国家的基本建设方针,在设计中充分体现国家的经济政策和技术政策。

设计是与国家的经济状况、技术水平,以至国家的政治环境紧密地联系在一起的,不能脱离具体的环境。每一个时期,国家都有具体的基本建设方针和政策,每一个工业部门,往往还需要根据国家的总方针,结合各自当前的技术水平,制订具体的设计规程和规定,作为设计人员进行工程设计时遵守的准则。如 DL 5000—2000《火力发电厂设计技术规程》和 DL/T 5068—2006《火力发电厂化学设计技术规程》,它们容纳了国家的基本建设方针和当前的技术经济政策,以及这些方针政策在电力设计实践中的应用;它还总结了水处理领域的技术成果和多年的设计经验,对水处理设计中的各种问题作了许多具体的规定,是电厂锅炉水处理设计人员必须遵守的准则。

(2) 一个优秀的工程设计,应当在技术、经济两方面都具有优势。技术上要保证设备的可靠性,提高生产效率,满足设备长期、稳定的生产需要;经济上要降低工程造价,减少水耗、电耗及药品耗量等运行费用,从而获得最大的综合经济效益。

(3) 要积极慎重、因地制宜地应用新技术、新材料、新工艺、新布置、新结构。国内外的先进技术,应当认真地学习、借鉴,但要因地制宜,不可生搬硬套,要认真做好采用先进技术的前期准备工作(必要的试验研究和调查总结),要经得起实际运行的检验。

(4) 要结合建厂厂地附近条件选择设备、材料,特别是日常生产消耗的药品材料,包括运输、供应等问题,必须一并考虑。

(5) 努力提高设备的机械化、自动化水平,以便提高劳动生产率和运行管理水平。

(6) 改善劳动条件,包括现场工作的操作位置、工作场所的环境条件、危险地区的防护装置等。

(7) 设计中应节约用水,减少“三废”排放,按照有关环境保护的法规要求对“三废”进行治理,使之符合环保法规的规定。

(8) 对扩建工程的设计,要与原有的系统布置、建筑结构、运行管理经验等结合起来,

全面考虑,统一协调。

我国现行的工程设计一般分为初步可行性研究、可行性研究、设计任务书编制、初步设计和施工图设计等几个阶段。

1. 初步可行性研究

根据我国电力建设的经验,这一工作主要是根据中长期电力规划进行规划选厂。根据燃料资源、运输条件、地区自然条件、建设计划、供电方向及电源布局等诸多因素,并正确处理农业、工业、国防设施和人民生活等多方面关系,经过分析比较,推荐可能的厂址及规模,编写规划选厂报告。

2. 可行性研究

可行性研究的主要内容是工程选厂。根据批准的项目建议书或审定的初步可行性研究报告,研究电网结构、热电负荷、燃料、水源、交通、运输、环境、出线、灰场、施工条件等,进行详细的技术经济比较和经济效益分析,作出肯定的选厂结论,编写工程选厂报告。

3. 设计任务书编制

根据可行性研究结果,通过设计任务书来确定并下达所建电厂项目及方案。其内容包括所建项目的目的和依据,建厂地点、规模、速度及建厂条件,主要协作的配合条件,主机炉设备及主要工艺流程,环境保护,占地,投资,定员等。

4. 初步设计

初步设计包括准备工作(收集和分析资料,拟定建设原则等)、确定方案、编制设计文件、报批等步骤。

这一工作是按各专业范围进行。对水处理专业来讲,要完成锅炉补给水处理、凝结水处理、循环冷却水处理、给水与炉水处理、热网补充水处理、废水处理、汽水取样、油处理、制氢等方面的初步设计,确定设计依据,选择系统,进行设备布置并编写工程概算和主要设备材料清单等。图纸方面要完成系统图、设备布置图及主要断面图等。

5. 施工图设计

施工图设计是在初步设计的基础上,结合全厂设计构思(如全厂布置、地下设施等)及各专业之间的要求进行各专业的施工图设计。施工图设计应能使施工单位按照本设计顺利的进行现场施工建设。主要包括各种施工图纸,如系统图、布置图、管道图、设备图、非标准设备设计图、非标准件加工图,以及电气仪表及土建等方面的图纸,还要编制工程概算和材料设备表(修订)等,并编写设计说明书(内容包括设计依据、特殊问题说明及施工运行中注意事项等)。

由此可知,一个工程设计(即使对单一的水处理设计也一样)是十分繁杂的。它涉及很复杂的方案比较和设计计算,并且还容纳了众多的技术数据和设计资料,工作量十分浩大,也很烦琐,为了提高设计的工作效率,可以借助计算机软件来进行。利用计算机来储存各种设计资料,在计算机内进行方案比较、设计计算以及画图,可以大大提高设计速度和方案比较的准确性。

上述的工程设计工作基本程序,对于高等院校应用化学(电厂化学)专业学生的课程设计(毕业设计)来讲,由于时间、条件等方面的限制,不可能全部完成,只能有重点地选择一部分内容,进行工程设计的练习。通常只限于初步设计阶段,即在给定的建厂规模、主机炉设备和水质条件下,进行水处理方面的初步设计,完成系统图、设备布置图,并编写设计

说明书。

据此,本书重点介绍锅炉水处理的初步设计,讨论的内容主要是补给水处理、凝结水处理及给水与炉水处理。

当前,提高自动化水平,减少废水排放,减少环境污染已成为水处理设计工作中重要的决策因素,也是膜技术迅速推广的主要原因。本次修订参考了DL 5000—2000《火力发电厂设计技术规程》和DL/T 5068—2006《火力发电厂化学设计技术规程》,力图使学生了解最新的设计思想、跟踪最新的设计理念。

随着计算机的普及,编制各式各样的设计软件非常常见,锅炉水处理设计也不例外,比如目前广泛使用的反渗透设计软件。还有离子交换设计软件。使用这些软件,无疑可以缩短设计计算的时间,提高其可靠性。但是对于学生来讲,了解设计计算的基本原理,掌握其基本方法,得到基本的训练,才是最重要的。所以本书详细地介绍了锅炉水处理的设计原理、设计方法和计算公式,让学生掌握最基本的基础知识,而不是简单地推荐使用某个设计软件。

第一章 设计的原始资料及其整理

工程设计是把工程技术与现场实际条件结合起来,设计出既符合技术要求,又能在具体现场条件下运转的系统设备。因此,在一个工程设计开始之前,必须广泛地了解所设计工程的具体内容和要求,以及厂址地区的实际情况,这就是收集设计的原始资料。

具体到电厂锅炉水处理系统设计来讲,设计的原始资料包括所设计电厂的性质、规模、热力设备情况,它们对水质、水量等方面的要求,有关水源水质资料以及水处理设备、药品、材料等有关方面的资料。

第一节 电厂的性质、规模及水汽质量标准

一、电厂性质、规模及热力设备情况

在水处理系统设计之前,应了解所建电厂的性质,是凝汽式电厂还是热电厂,是带基本负荷的电厂还是带调峰负荷的电厂。对热电厂,还应了解供热负荷、回水量、回水水质、回水水温及外供化学除盐水的水质、水量等。

另外,还应了解所建电厂本期建设规模、容量,扩建情况(扩建容量及时间),机炉设备形式、容量、参数、结构特点、减温方式、燃料情况(对汽包锅炉还应了解锅内装置形式),汽轮机辅机设备(凝汽器、加热器、各种热交换器等)的材质及冷却水质,发电机的冷却方式等。

对于老厂扩建,还应了解老厂的容量、设备规范、水处理系统、设备布置及运行管理人员的经验。另外,新建发电厂的辅助启动设施也应知道。

二、锅炉水汽平衡数据及水汽质量标准

为了了解热力设备对给水和补给水水质、水量方面的要求,必须进行锅炉水汽平衡计算。在进行这种计算之前,要了解有关的技术数据。它们有的是各种规定值,也有的是计算值或经验值,如水汽质量标准,蒸汽携带系数,汽水损失情况等。

表 1-1 汽包锅炉排污率允许值

适用范围	允许值
以化学除盐水为补给水的凝汽式电厂	$\leq 1\%$
以化学除盐水和蒸馏水为补给水的热电厂	$\leq 2\%$
以化学软化水为补给水的热电厂	$\leq 5\%$
正常情况下锅炉排污率最小值	$\geq 0.3\%$

1. 锅炉排污率

锅炉排污率太大,热损失及水损失增大,经济效益下降;排污率太小,又不利于炉水中沉渣的排出。所以,对汽包锅炉正常情况下的排污率有具体规定,列于表 1-1 中。直流锅炉没有排污,故排污率为 0。由于水处理技术的进步,某些进口的汽包锅炉也没有排污装置,其排污率也为 0。

2. 汽包锅炉常用的汽水分离装置及其蒸汽携带系数

各种参数汽包锅炉常用的汽水分离装置及其蒸汽携带系数列于表 1-2、表 1-3 中。

表 1-2 汽包锅炉常用的汽水分离装置

锅炉类型		蒸发系统	汽水分离装置	主要决定因素
亚临界压力锅炉		单段蒸发	旋风分离器一次分离	
超高压锅炉		单段蒸发	旋风分离器一次分离和蒸汽清洗	炉（给）水含硅量
高压锅炉	凝汽式电厂	单段蒸发	旋风分离器一次分离 旋风分离器一次分离和蒸汽清洗	补给水含硅量
	热电厂	两段蒸发 $n_2^{\text{①}} = 15\%$	旋风分离器一次分离和蒸汽清洗	补给水为软化水
中压锅炉	凝汽式电厂	单段蒸发 两段蒸发	旋风分离器一次分离	
	热电厂	两段蒸发	旋风分离器一次分离和蒸汽清洗	补给水为软化水

① 盐段蒸发量占总蒸发量的份额。

表 1-3 汽包锅炉常用汽水分离装置的蒸汽携带系数

锅炉类型	蒸汽携带系数	单段蒸发				两段蒸发			
		A	A+C	B	B+C	锅内Ⅱ段 盐段 B 净段 B	锅内Ⅱ段 盐段 B+C 净段 B	外置Ⅱ段 净段 B	外置Ⅱ段 盐段 C 净段 B
中压锅炉	$K_{\text{机}} (\times 10^{-4})$	1~2		0.5~0.8		0.5~0.65		0.35~0.55	
	$K_{\text{SiO}_2} (\times 10^{-2})$	0.05~0.08* 0.1**		0.05~0.08* 0.1**		0.08		0.075	
高压锅炉	$K_{\text{机}} (\times 10^{-4})$	1~2	0.6	0.8	0.4		0.35		0.3
	$K_{\text{SiO}_2} (\times 10^{-2})$	1.0	0.4	1.0	0.35		0.35		0.3
超高压锅炉	$K_{\text{机}} (\times 10^{-4})$	2~3		1.0	0.45				
	$K_{\text{SiO}_2} (\times 10^{-2})$	3~5		3~5	1.0				
亚临界压力锅炉	$K_{\text{机}} (\times 10^{-4})$			1~2					
	$K_{\text{SiO}_2} (\times 10^{-2})$			7~9					

注 A—简单机械分离元件；B—旋风分离器作一次分离；C—蒸汽清洗装置。

* 石灰二级钠处理。

** 氢钠处理。

对于 15.58MPa 及以下的锅炉，影响蒸汽品质的主要是机械携带和 SiO₂ 溶解携带，可利用表 1-3 中所列数据。对于 15.68MPa 及以上的亚临界压力锅炉，蒸汽溶解性携带除了 SiO₂ 以外，还有 NaCl、NaOH 等物质。虽其携带系数远比 SiO₂ 的小（见表 1-4），蒸汽品质主要是从 SiO₂ 角度来考虑，但必要时也要对蒸汽中钠盐（或含盐量）进行校核计算。对超临界和超超临界压力锅炉，则要考虑其他化合物在该参数的单相介质中的溶解度。

表 1-4 几种钠化合物溶解携带系数 K 值

蒸汽压力 (MPa)	NaCl (%)	NaOH (%)	Na ₂ SO ₄ (%)	Na ₃ PO ₄
15.19	0.028	0.04		
16.66	0.1	0.2		
17.64	0.3			极微
18.62	0.5			
19.6	0.7		0.01	

3. 水汽质量标准

水汽质量标准是保证热力设备安全、经济运行的重要监督依据和判断准则，GB/T 12145—2008《火力发电机组及蒸汽动力设备水汽质量》对亚临界及以下参数机组水汽品质作了规定。DL/T912—2005《超临界火力发电机组水汽质量标准》对超临界参数机组水汽品质作了规定。超超临界参数机组水汽质量标准目前还没有规定，可以参照超临界参数机组水汽质量标准。从设计角度来讲，必须保证各项技术指标符合该标准要求。

（1）蒸汽质量标准。对于中压至亚临界参数的各种汽包锅炉和直流锅炉，其蒸汽质量标准列于表 1-5 中。超临界参数机组蒸汽质量标准列于表 1-6 中。

表 1-5 亚临界及以下参数锅炉蒸汽质量标准

过热蒸汽压力 (MPa)	钠 (μg/kg)		氢电导率 (25℃) (μS/cm)		二氧化硅 (μg/kg)		铁 (μg/kg)		铜 (μg/kg)	
	标准值	期望值	标准值	期望值	标准值	期望值	标准值	期望值	标准值	期望值
3.8~5.8	≤15	—	≤0.30	—	≤20	—	≤20	—	≤5	—
5.9~15.6	≤5	≤2	≤0.15*	≤0.10*	≤20	≤10	≤15	≤10	≤3	≤2
15.7~18.3	≤5	≤2	≤0.15*	≤0.10*	≤20	≤10	≤10	≤5	≤3	≤2
>18.3	≤3	≤2	≤0.15	≤0.10	≤10	≤5	≤5	≤3	≤2	≤1

* 没有凝结水精处理除盐装置的机组，蒸汽的氢电导率标准值不大于 0.30μS/cm，期望值不大于 0.15μS/cm。

表 1-6 超临界参数锅炉蒸汽质量标准

项目	氢电导率 (25℃) (μS/cm)	二氧化硅 (μg/kg)	铁 (μg/kg)	铜 (μg/kg)	钠 (μg/kg)
标准值	<0.20	≤15	≤10	≤3	≤5
期望值	<0.15	≤10	≤5	≤1	≤2

（2）汽包锅炉炉水质量标准。列于表 1-7 中，该表中除列出一些控制标准之外，还列有一些参考控制指标。汽包锅炉采用低磷酸盐处理、平衡磷酸盐处理、氢氧化钠处理时，炉水质量标准列于表 1-8~表 1-10 中。

表 1-7 汽包炉炉水含盐量、氯离子和二氧化硅含量标准

锅炉过热 蒸汽压力 (MPa)	处理方式	电导率 ^① (25℃) (μS/cm)	二氧化硅 ^①	氯离子 ^①	磷酸根 (mg/L)			pH ^① (25℃)	氢电导率 ^① (25℃) (μS/cm)
			mg/L	单段蒸发	分段蒸发				
						净段	盐段		
3.8~5.8	固体碱化 剂处理	—	—	—	5~15	5~12	≤75	9.0~11.0	—
5.9~10.0		≤150	≤2.00*	—	2~10	2~10	≤40	9.0~10.5	—
10.1~12.6		≤60	≤2.00*		2~6	2~6	≤30	9.0~10	—
12.7~15.8		≤35	≤0.45*	≤1.5	≤3	≤3	≤15	9.0~9.7	—
15.8~18.3	固体碱化 剂处理	≤20	≤0.20	≤0.5	≤1	—	—	9.0~9.7	≤1.5**
	挥发性处理	—	≤0.15	≤0.3	—	—	—	9.0~9.7	≤1.0

注 炉水 pH 期望值是：9.5~10.0（5.9~10MPa）；9.5~9.7（10.1~12.6MPa）；9.3~9.7（12.7~15.8MPa）；9.3~9.6（>15.8MPa 的固体碱化剂处理）。

① 单段蒸发炉水。所有炉水中均应无硬度。

* 汽包内有洗汽装置时，其控制指标可适当放宽。

** 炉水 NaOH 处理时。

表 1-8 采用低磷酸盐处理 (LPT) 时炉水质量标准

锅炉汽包 压力 (MPa)	二氧化硅 ^① (mg/L)	氯离子 ^② (mg/L)	磷酸根 (mg/L)			pH 值 ^① (25℃)	电导率 ^① (25℃) (μS/cm)
			单段蒸发	分段蒸发			
				净段	盐段		
5.9~12.6	≤20	—	0.5~3	0.5~3	≤25	9.0~9.8	<60
12.7~15.8	≤0.45	≤2	0.5~3	0.5~3	≤15	9.0~9.7	<40
15.9~19.3	≤0.25	≤0.5	0.3~2	—	—	9.0~9.7	<30

① 均指单段蒸发值或净段蒸发值。

表 1-9 采用平衡磷酸盐处理 (EPT) 时炉水质量标准

锅炉汽包 压力 MPa	二氧化硅 ^① (mg/L)	氯离子 ^① (mg/L)	磷酸根 ^② (mg/L)			pH 值 ^① (25℃)	电导率 ^① (25℃) (μS/cm)
			单段蒸发	分段蒸发			
				净段	盐段		
5.9~12.6	≤20	—	0~3	0~3	≤25	9.0~9.8	<60
12.7~15.8	≤0.45	≤1	0~3	0~3	≤15	9.0~9.7	<40
15.9~19.3	≤0.25	≤0.1	0~2	—	—	9.0~9.7	<30

① 均指单段蒸发值或净段蒸发值。

② 磷酸根的含量由试验确定。

表 1-10 汽包锅炉氢氧化钠处理炉水质量标准

汽包压力 (MPa)		pH 值 (25℃)	电导率	氢电导率	氢氧化钠 ^①	氯离子 ^②
			μS/cm, 25℃		mg/L	
5.9~12.6		9.2~9.7	—	≤3.0	≤1.5	—
12.8~15.6		9.2~9.7	<10	≤2.0	≤1.5	≤0.4
15.7~18.3		9.2~9.5	<10	≤1.5	≤1.0*	≤0.2
分段 蒸发	净段	9.2~9.5	<8	≤2.0	≤1.2	≤0.2
	盐段	9.2~9.8	<15	≤3.0	≤2.0	≤0.4

① 炉水氢氧化钠控制值下限应通过试验确定，其余控制指标按照国际 GB/T 12145—2008 执行。

② 汽包炉应用给水加氧处理时氯离子含量控制在不大于 0.15mg/L。

* 汽包炉应用给水加氧处理时氢氧化钠含量控制在 0.4~0.8mg/L 之间。

(3) 给水质量标准。给水质量标准是在防止锅炉及给水系统发生腐蚀、结垢，并使锅炉排污率不超过规定值的前提下规定的，亚临界及以下参数锅炉给水质量标准列于表 1-11~表 1-13 中。超临界参数机组的给水质量标准列于表 1-14 中，由于超超临界参数机组已投入运行，目前是按照超临界参数机组水汽质量标准进行控制，但它应该有自己特殊要求，有人对超超临界参数机组凝结水水质提出建议（见表 1-15）。需要说明的是，表 1-12 中对中高压锅炉给水中总 CO₂ 允许含量没有作出规定，主要是因为目前软化系统已很少采用。以前曾经规定过中压锅炉给水中总 CO₂ ≤6 mg/L，高压锅炉小于或等于 4mg/L，这在某些情况下，可以作为参考依据。

表 1-11 亚临界及其以下参数锅炉给水质量标准

炉型	过热蒸汽 压力 (MPa)	氢电导率 (25℃) (μS/cm)		硬度 μmol/L	μg/L								二氧化硅	
		标准值	期望值	标准值	标准值	期望值	标准值	期望值	标准值	期望值	标准值	期望值		
汽包炉	3.8~5.8	—	—	≤2.0	≤15	≤50	—	≤10	—	—	—	应保证蒸汽 二氧化硅符 合标准		
	5.9~12.6	≤0.3	—	≈0	≤7	≤30	—	≤5	—	—				
	12.7~15.6	≤0.30	—	≈0	≤7	≤20	—	≤5	—	—				
	>15.6	≤0.15	≤0.10	≈0	≤7	≤15	≤10	≤3	≤2	—	—	≤20	≤10	
直流炉	5.9~18.3	≤0.15	≤0.10	≈0	≤7	≤10	≤5	≤3	≤2	≤5	≤2	≤15	≤10	
	>18.3	≤0.15	≤0.10	≈0	≤7	≤5	≤3	≤2	≤1	≤3	≤2	≤10	≤5	

注 液态排渣炉和原设计为燃油的锅炉，其给水的硬度和铁、铜的含量，应符合比其压力高一级锅炉的规定。没有凝结水处理的机组，给水氢电导率应不大于 $0.3\mu\text{S}/\text{cm}$ 。

表 1-12 亚临界及其以下参数锅炉给水的联氨、TOC 和 pH 值标准

炉型	过热蒸汽压力 (MPa)	pH 值 (25℃)	联氨 ($\mu\text{g}/\text{L}$)	TOC ($\mu\text{g}/\text{L}$)
汽包炉	3.8~5.8	8.8~9.3	—	—
	5.9~15.6	8.8~9.3 (有铜系统) 或 9.2~9.6 (无铜系统)	≤ 30	$\leq 500^*$
	>15.6			$\leq 200^*$
直流炉	>5.9	9.2~9.6 (无铜系统)		≤ 200

注 1. 凝汽器为铜管，加热器为钢管，其给水 pH 值可控制在 9.1~9.4。
2. 以前曾规定，对大于 12.7MPa 的锅炉，其给水的总碳酸盐（以二氧化碳计算）应小于或等于 $1\text{mg}/\text{L}$ 。
* 必要时监测。

表 1-13 采用加氧处理直流锅炉的给水溶解氧含量、pH 值和电导率标准

处理方式	pH 值 (25℃)	氢电导率 (25℃) ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		溶解氧 ($\mu\text{g}/\text{L}$)	油 (mg/L)
		标准值	期望值		
中性处理	7.0~8.0 (无铜系统)	≤ 0.20	≤ 0.15	50~250	0
联合处理	8.5~9.0 (有铜系统)	≤ 0.20	≤ 0.15	30~200	0
	8.0~9.0 (无铜系统)				

表 1-14 超临界参数机组的给水质量标准

项目	氢电导率 (25℃) ($\mu\text{S}/\text{cm}$)		二氧化硅 ($\mu\text{g}/\text{L}$)	铁 ($\mu\text{g}/\text{L}$)	铜 ($\mu\text{g}/\text{L}$)	钠 ($\mu\text{g}/\text{L}$)	TOC ^① ($\mu\text{g}/\text{L}$)	氯离子 ^① ($\mu\text{g}/\text{L}$)
	挥发处理	加氧处理						
标准值	<0.20	<0.15	≤ 15	≤ 10	≤ 3	≤ 5	≤ 200	≤ 5
期望值	<0.15	<0.10	≤ 10	≤ 5	≤ 1	≤ 2	—	≤ 2

① 根据实际运行情况不定期抽查。

表 1-15 对超超临界参数机组凝结水处理装置出水水质的要求（建议值）

氢电导率 (25℃) ($\mu\text{S}/\text{cm}$)	钠 ($\mu\text{g}/\text{L}$)	氯离子 ($\mu\text{g}/\text{L}$)	硫酸根离子 ^① ($\mu\text{g}/\text{L}$)	二氧化硅 ($\mu\text{g}/\text{L}$)	铁 ($\mu\text{g}/\text{L}$)	铜 ($\mu\text{g}/\text{L}$)	悬浮物 ($\mu\text{g}/\text{L}$)
<0.08	<0.5	<0.5	<0.5	<2	<1	<1	<5

① 包括有机硫化物。

第二节 热力设备对补给水水质及水量的要求

一、汽包锅炉盐平衡及允许给水水质的确定

水处理系统的设计首先要确定机组所需要的给水水质，以便进而确定补给水水质和水处理系统。汽包锅炉给水水质要通过盐平衡计算来求得。

1. 单段蒸发汽包锅炉的盐平衡

对单段蒸发锅炉，如用 D 代表蒸发量， D_g 代表给水量， D_p 代表排污量（见图 1-1），则有如下汽水平衡关系：

$$D_g = D + D_p$$

将上式各项均除以 D ，且令排污率 $P\% = D_p/D \times 100\%$ ，则可建立如下盐平衡关系：

$$(100 + P)S_g = 100S + PS_p$$

$$S_g = \frac{100S + PS_p}{100 + P} \quad (1-1)$$

式中 S_g ——给水水质（含盐量或某种物质含量，如 Na^+ ， SiO_2 等）；

S ——蒸汽品质（含盐量或某种物质含量，如 Na^+ ， SiO_2 等）；

S_p ——排污水（炉水）水质（含盐量或某种物质含量，如 Na^+ ， SiO_2 等）。

利用式（1-1）可以计算锅炉的允许炉水水质，式中排污率 P 可按锅炉允许的最大排污率取值， S 按规定的蒸汽质量标准取值^①，允许的炉水水质 S_p 可按下式计算：

$$S = KS_p$$

$$S_p = \frac{S}{K} \quad (1-2)$$

式中 K 值为所采用的锅炉汽水分离装置的携带系数，见表 1-3。在以含盐量计算时， $K = K_{\text{机}}$ ；以含硅量计算时， $K = K_{\text{机}} + K_{\text{SiO}_2}$ 。如果是高参数机组，还要考虑钠化合物携带，则按表 1-4 取值。

2. 两段蒸发汽包锅炉的盐平衡

目前两段蒸发锅炉多为低参数（中压、高压）锅炉，所以盐平衡计算只用含盐量和 SiO_2 进行计算，一般不考虑钠化合物。同单段蒸发锅炉一样，二段蒸发锅炉也有如下的盐平衡关系（见图 1-2）。

锅炉总的盐平衡：

$$(100 + P)S_g = 100S + PS_{p\text{II}} \quad (1-3)$$

S 值可按下式计算：

① 对采用混合式减温器的锅炉， S 值还可以按下式计算：

$$(100 - D')S + D'S_g = 100S'$$

式中： S' 为蒸汽质量标准规定值； D' 为减温水量占锅炉蒸发量的百分数； S_g 为减温水含盐量（或某种物质含量），可根据情况暂选一值，待计算完毕后再进行反校，如对 SiO_2 可取 $20\mu\text{g/L}$ 或稍大。

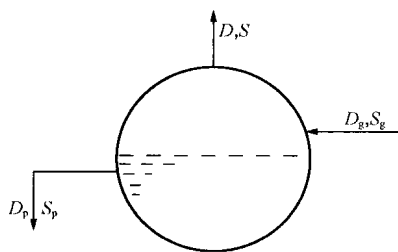


图 1-1 单段蒸发汽包锅炉盐平衡

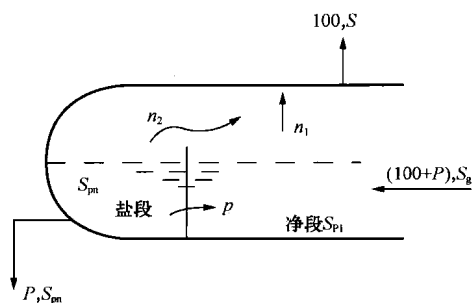


图 1-2 两段蒸发汽包锅炉盐平衡

$$100S = n_1 K_1 S_{pI} + n_2 K_2 S_{pII} \quad (1-4)$$

式中 n_1, n_2 ——净段及盐段蒸发量占总蒸发量 (为 100) 的份数;

S_{pI}, S_{pII} ——净段及盐段炉水水质 (含盐量或某种物质含量);

K_1, K_2 ——净段、盐段的携带系数, 可近似看作 $K_1 = K_2 = K$ (K 为总的携带系数)。

盐段盐平衡:

$$S_{pII} P + n_2 K_2 S_{pII} + n_2 \rho S_{pII} = (n_2 + n_2 \rho + P) S_{pI} \quad (1-5)$$

净段盐平衡:

$$(100 + P) S_g + n_2 \rho S_{pII} = n_1 K_1 S_{pI} + (n_2 + n_2 \rho + P) S_{pI} \quad (1-6)$$

上两式中 ρ ——盐段炉水由于各种原因 (泄漏、返回等) 而返回净段的炉水占盐段出力的百分数; 当锅炉为外置盐段时, $\rho=0$, 内置盐段时, ρ 为 0.05~0.1。

令 $C_{II/I}$ 为盐段炉水与净段炉水浓度的比值 (浓缩倍率), $C_{I/g}$ 为净段炉水与给水浓度的比值, 即

$$C_{II/I} = \frac{S_{pII}}{S_{pI}} \quad \text{或} \quad S_{pII} = C_{II/I} S_{pI} \quad (1-7)$$

$$C_{I/g} = \frac{S_{pI}}{S_g} \quad \text{或} \quad S_{pI} = C_{I/g} S_g \quad (1-8)$$

由式 (1-5) 可得

$$C_{II/I} = \frac{n_2 + n_2 \rho + P}{n_2 (K_2 + \rho) + P} \quad (1-9)$$

由式 (1-6) 可得

$$\begin{aligned} C_{I/g} &= \frac{100 + P}{n_1 K_1 + n_2 + P + n_2 \rho - n_2 \rho C_{II/I}} \\ &= \frac{100 + P}{n_1 K_1 + n_2 + P - \left[\frac{n_2 + n_2 \rho + P}{n_2 (K_2 + \rho) + P} - 1 \right] n_2 \rho} \end{aligned} \quad (1-10)$$

将式 (1-7)、式 (1-8) 代入式 (1-4) 可得

$$100S = K(n_1 C_{I/g} S_g + n_2 C_{II/I} C_{I/g} S_g)$$

所以

$$S_g = \frac{100S}{K(n_1 C_{I/g} + n_2 C_{II/I} C_{I/g})} \quad (1-11)$$

由于 P, ρ, K_1, K_2 值可以查得, 故可利用式 (1-9)、式 (1-10) 求得 $C_{II/I}$ 、 $C_{I/g}$, 进而可利用式 (1-11) 求得允许给水水质 (给水含盐量或含硅量)。

盐段炉水允许水质 S_{pII} :

$$S_{pII} = S_g C_{I/g} C_{II/I} = \frac{100S}{K \left(\frac{n_1}{C_{II/I}} + n_2 \right)} \quad (1-12)$$

净段炉水允许水质 S_{pI} :

$$S_{pI} = S_g C_{I/g} = \frac{100S}{K(n_1 + n_2 C_{II/I})} \quad (1-13)$$